

MODEL *EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK* *SEQUENCE (ETAS)* SPASIAL



oleh

DODY CHANDRA PRIAMBODO

M0113014

SKRIPSI

ditulis dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains Matematika

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2018

MODEL EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK SEQUENCE (ETAS) SPASIAL

SKRIPSI

DODY CHANDRA PRIAMBODO

NIM. M0113014

dibimbing oleh

Pembimbing I



Dr. Hasih Pratiwi, M.Si.

NIP. 19700228 199512 2 001

Pembimbing II



Dra. Respatiwan, M.Si.

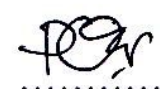


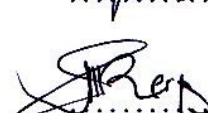
NIP. 19680611 199302 2 001

telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji

dan dinyatakan memenuhi syarat

pada hari Senin, 20 November 2017

Dewan Penguji

Jabatan	Nama dan NIP	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Dra. Purnami Widyaningsih, M.App.Sc. NIP. 19620815 198703 2 003		10 / 01 / 2018
Sekretaris	Drs. Santoso Budiwiyono, M.Si. NIP. 19620203 199103 1 001		06 / 12 / 2017
Anggota	Dr. Hasih Pratiwi, M.Si. NIP. 19700228 199512 2 001		06 / 12 / 2017
Penguji	Dra. Respatiwan, M.Si. NIP. 19680611 199302 2 001		05 / 12 / 2017

Disahkan

di Surakarta pada tanggal

10 JAN 2018

Kepala Program Studi Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret Surakarta

Supriyadi Wibowo, S.Si., M.Si.

NIP. 19681110 199512 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Model *Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS)* Spasial" belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga belum pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, November 2017



Dody Chandra Priambodo

ABSTRAK

Dody Chandra Priambodo, 2017. MODEL EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK SEQUENCE (ETAS) SPASIAL. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret.

Aktivitas gempa bumi terus dikaji baik dari aspek seismologi maupun aspek stokastik. Proses titik merupakan aspek stokastik yang dapat menjelaskan fenomena alam yang bersifat acak baik dalam ruang maupun waktu. Salah satu model dalam proses titik adalah model *epidemic type aftershock sequence (ETAS)*. Model *ETAS* tidak optimal dalam menjelaskan aktivitas gempa bumi karena dianggap tidak memiliki komponen lokasi. Oleh karena itu pada penelitian ini dibahas model *ETAS* dengan mempertimbangkan komponen waktu, magnitudo, dan lokasi. Model tersebut dinamakan model *ETAS* spasial.

Tujuan penelitian ini adalah menurunkan ulang, mengestimasi fungsi intensitas bersyarat, dan menerapkan model *ETAS* spasial pada data gempa bumi di Pulau Jawa dan Pulau Sumatra. Model *ETAS* spasial dinyatakan melalui fungsi intensitas bersyarat yang memuat tujuh parameter. Parameter fungsi intensitas bersyarat model *ETAS* spasial diestimasi menggunakan metode *likelihood* maksimum dan metode Davidon Fletcher Powell. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data gempa bumi di Pulau Jawa dan Pulau Sumatra tahun 1973-2016 dengan magnitudo ≥ 5 SR dan kedalaman ≤ 70 km.

Berdasarkan hasil estimasi parameter, diperoleh aktivitas gempa bumi Pulau Jawa sering terjadi di pesisir selatan Pulau Jawa terutama di perairan selatan Jawa Barat, pesisir selatan Jawa Timur dan Selat Sunda. Aktivitas gempa bumi Pulau Sumatra sering terjadi di sepanjang pesisir barat Pulau Sumatera terutama di pesisir barat Aceh sampai pesisir barat Bengkulu dan pesisir timur Riau. Hal ini menyebabkan daerah-daerah tersebut rawan mengalami bencana gempa bumi dengan magnitudo ≥ 5 SR dan kedalaman ≤ 70 km.

Kata Kunci: gempa bumi, gempa susulan, magnitudo, spasial, fungsi intensitas bersyarat, metode *likelihood* maksimum, metode Davidon Fletcher Powell, model *ETAS*, model *ETAS* spasial

ABSTRACT

Dody Chandra Priambodo, 2017. SPATIAL EPIDEMIC TYPE AFTERSHOCK SEQUENCE (ETAS) MODEL. Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sebelas Maret University.

Earthquake activity is still studied from seismology aspect or stochastic aspect. The point process is a stochastic aspect that can explain the natural phenomenon which are random space and time. One of models on a point process is an epidemic type aftershock sequence (ETAS) model. The ETAS model is not optimal to explain an earthquake activities because it has not spatial component. Therefore, this research discussed of ETAS model by considering time, magnitude, and location components. The model is called a spatial epidemic type aftershock sequence (ETAS) model.

The aims of this research are to reconstruct, to estimate conditional intensity function, and to apply the spatial ETAS model on the earthquake data in Java Island and Sumatra Island. The spatial ETAS model can be expressed through the conditional intensity function containing seven parameters. The parameters of the spatial ETAS model can be estimated using maximum likelihood method and Davidon-Fletcher-Powell method. The data from this research are earthquakes data in Java Island and Sumatra Island from 1973-2016 with magnitude ≥ 5 SR dan depth ≤ 70 km.

Based on the parameters estimation result, earthquake activities in Java Island often occurs on the southern coast of Java Island especially occurs on the southern of West Java and around the Sunda Strait. An earthquake activities in Sumatra Island often occurs along the west coast of Sumatra Island especially occurs from the west coast of Aceh to the west coast of Bengkulu and around the east coast of Riau. This causes of the areas are prone to earthquake disaster with magnitude ≥ 5 SR dan depth ≤ 70 km.

Keywords : *earthquake, aftershock, magnitude, spatial, conditional intensity function, maximum likelihood method, Davidon Fletcher Powell method, ETAS model, spatial ETAS model*

PERSEMBAHAN

Karya ini dipersembahkan untuk
kedua orangtua saya.

MOTO

*“Tuhan tidak menuntut kita untuk sukses.
Tuhan hanya menyuruh kita berjuang tanpa henti.””*
(Penulis)

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini. Penyelesaian penulisan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, kerjasama, dan bantuan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Dr. Hasih Pratiwi, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan selama penelitian hingga penyusunan skripsi,
2. Dra. Respatiwan, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dalam penyusunan skripsi, dan
3. semua pihak yang telah membantu penulis.

Semoga skripsi ini bermanfaat.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surakarta, November 2017

Penulis

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
PERSEMBAHAN	vi
MOTO	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
 I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
 II LANDASAN TEORI	 4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Teori-Teori	5
2.2.1 Gempa Bumi	5
2.2.2 Aktivitas Gempa Bumi di Indonesia	7
2.2.3 Proses Stokastik	8

2.2.4	Proses Menghitung dan Proses Titik	9
2.2.5	Proses Titik Spasial	10
2.2.6	Metode <i>Likelihood</i> Maksimum	10
2.2.7	Metode Davidon Fletcher Powell	11
2.2.8	Waktu Antar Kejadian	12
2.2.9	Fungsi Intensitas	13
2.2.10	Hukum Gutenberg-Richter	13
2.2.11	Hukum Omori	14
2.2.12	Fungsi Hazard	14
2.3	Kerangka Pemikiran	15
III METODE PENELITIAN		16
IV PEMBAHASAN		18
4.1	Model <i>Epidemic Type</i>	18
4.2	Model <i>Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS)</i>	19
4.3	Model <i>Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS)</i> Spasial	21
4.4	Estimasi Parameter Model <i>Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS)</i> Spasial	23
4.5	Penerapan Model <i>ETAS</i> Spasial	28
4.5.1	Penerapan Data Gempa Bumi di Pulau Jawa	29
4.5.2	Penerapan Data Gempa Bumi di Pulau Sumatra	35
4.5.3	Karakter Gempa Bumi Pulau Jawa dan Pulau Sumatra	42
V PENUTUP		44
5.1	Simpulan	44
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46

DAFTAR TABEL

2.1	Skala <i>modified mercally intensity</i> (<i>MMI</i>)	7
4.1	Estimasi parameter model <i>ETAS</i> spasial untuk data gempa bumi di Pulau Jawa tahun 1973-2016	32
4.2	Estimasi parameter model <i>ETAS</i> spasial untuk data gempa bumi Pulau Sumatra tahun 1973-2016	39

DAFTAR GAMBAR

4.1	Aktivitas gempa bumi di Pulau Jawa tahun 1973-2016	29
4.2	Hubungan waktu terhadap lokasi untuk aktivitas gempa bumi di Pulau Jawa tahun 1973-2016	30
4.3	Hubungan waktu terhadap magnitudo untuk aktivitas gempa bumi di Pulau Jawa tahun 1973-2016	31
4.4	(a) laju kejadian dasar dan (b) laju kejadian total gempa bumi di Pulau Jawa tahun 1973-2016.	33
4.5	(a) koefisien klustering dan (b) fungsi intensitas dasar model <i>ETAS</i> spasial pada akhir periode untuk gempa bumi di Pulau Jawa tahun 1973-2016.	34
4.6	Aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatra tahun 1973-2016	36
4.7	Hubungan waktu terhadap lokasi untuk aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatra tahun 1973-2016	37
4.8	Hubungan waktu terhadap magnitudo untuk aktivitas gempa bumi di Pulau Sumatra tahun 1973-2016	38
4.9	(a) laju kejadian dasar gempa bumi dan (b) laju kejadian total gempa bumi di Pulau Sumatra tahun 1973-2016.	40
4.10	(a) koefisien klustering dan (b) fungsi intensitas dasar model <i>ETAS</i> spasial pada akhir periode gempa bumi di Pulau Sumatra tahun 1973-2016.	41

DAFTAR NOTASI

M	: magnitudo
M_0	: ambang batas magnitudo
(x, y)	: lokasi kejadian dengan garis bujur (x) dan garis lintang (y)
t	: waktu kejadian
t_g	: waktu kejadian akhir
τ	: waktu antar kejadian
$N(t)$: banyaknya kejadian yang terjadi selama waktu (t)
\mathcal{H}_t	: kejadian-kejadian masa lampau sampai sebelum waktu t
$F(t \mathcal{H}_t)$: fungsi densitas kumulatif bersyarat kejadian masa lampau sampai dengan sebelum waktu t
$f(t \mathcal{H}_t)$: fungsi densitas probabilitas bersyarat kejadian masa lampau sampai dengan sebelum waktu t
$N(t, x, y)$: banyaknya kejadian yang terjadi selama waktu (t) pada lokasi kejadian (x, y) dengan garis bujur (x) dan garis lintang (y)
L	: fungsi <i>likelihood</i>
$\vec{\theta}$: parameter
$\widehat{\vec{\theta}}$: estimator parameter
$\ln L$: fungsi logaritma natural <i>likelihood</i>
$\lambda(t)$: fungsi intensitas
$\lambda(t \mathcal{H}_t)$: fungsi intensitas bersyarat
F_M	: frekuensi gempa bumi
$n(t)$: frekuensi gempa susulan
$\psi(t)$: fungsi hazard
$S(t)$: fungsi ketahanan hidup
$g(x)$: probabilitas terdapat satu kelahiran
$l(x)$: probabilitas terdapat satu kematian

μ	: laju kejadian dasar gempa bumi yang independen terhadap waktu (t)
$\mu(x, y)$: laju kejadian dasar gempa bumi yang independen terhadap waktu (t) dan dependen terhadap lokasi (x, y) dengan garis bujur (x) dan garis lintang (y)
$\kappa(M)$: probabilitas terjadinya gempa susulan dengan magnitudo M
$g(t)$: fungsi probabilitas densitas dari waktu terjadinya gempa pemicu
$f(x, y M)$: fungsi distribusi lokasi dari gempa pemicu
A	: produktivitas gempa susulan
α	: efisiensi gempa bumi dengan magnitudo tertentu yang menghasilkan gempa susulan
c	: skala waktu laju peluruhan gempa susulan
p	: laju peluruhan gempa susulan
D	: jarak episenter ke koordinat titik kejadian gempa bumi
q	: skala jarak laju peluruhan gempa susulan
γ	: efisiensi gempa bumi yang independen terhadap $\kappa(M)$